新幹線用PCまくらぎの状態基準保全に基づく維持管理手法

鉄道力学研究部　軌道力学研究室

主任研究員　　箕浦　慎太郎

本日の発表

1 はじめに

2 PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

3 画像解析を活用した健全度評価システムの開発

4 まとめ

本日の発表

1 はじめに

2 PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

3 画像解析を活用した健全度評価システムの開発

4 まとめ

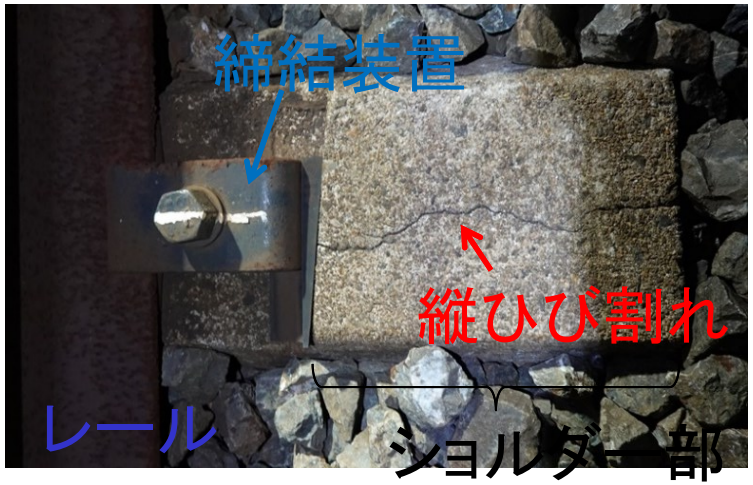
はじめに

PCまくらぎの特徴

- 高耐久性（木まくらぎのように腐食せず）
- 高品質・大量生産が可能（プレキャスト部材）
- 高い道床横抵抗力（ロングレール化に必須）

▶ 安全性向上・高速化・保守省力化に貢献

新幹線用PCまくらぎの損傷例



PCまくらぎ長手方向のひび割れ（縦ひび割れ）が生じたPCまくらぎが散見される

はじめに

ひび割れの生じたPCまくらぎの維持管理の実態

- 現状は主に目視による定性的な判断
- 膨大な数のPCまくらぎを管理する必要があり、効率化が急務

維持管理効率化への課題

- そもそも縦ひび割れに対する体系的、定量的な実態調査が不十分
- 合理的な健全度評価のために、耐力に基づく定量的な評価指標が必要
- 提案する指標を用いて検査を効率化するツールが必要

研究目的

1. 縦ひび割れの生じたPCまくらぎの実態を把握し、耐力と関連した定量的な健全度評価指標を提案
2. 画像解析によりひび割れを抽出、評価可能な健全度評価システムの開発

本日の発表

1 はじめに

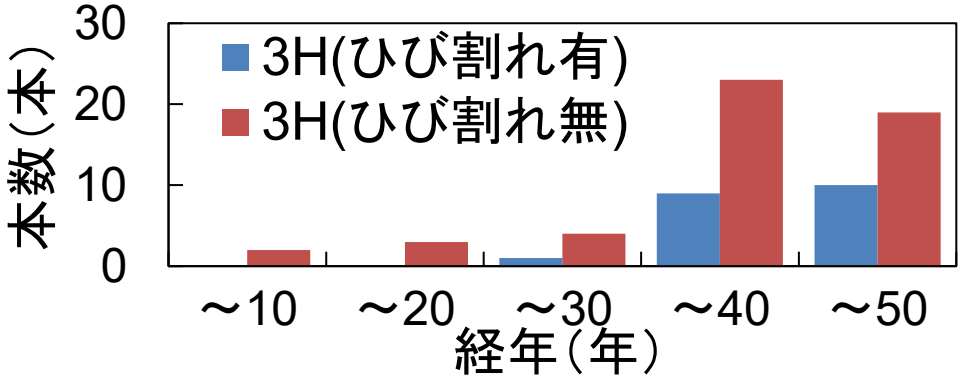
2 PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

3 画像解析を活用した健全度評価システムの開発

4 まとめ

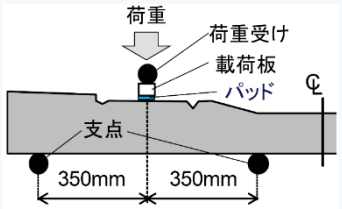
PCまくらぎの実態調査

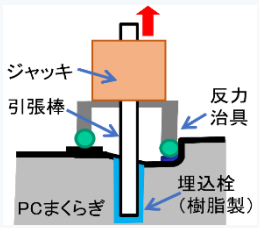
- 営業線に敷設された経年PCまくらぎを回収
- 新幹線用PCまくらぎ（JIS 3Hまくらぎ）を対象
- 縦ひび割れの有無、経年の異なるJIS 3Hまくらぎ合計71本について調査



調査①：耐力の実態調査

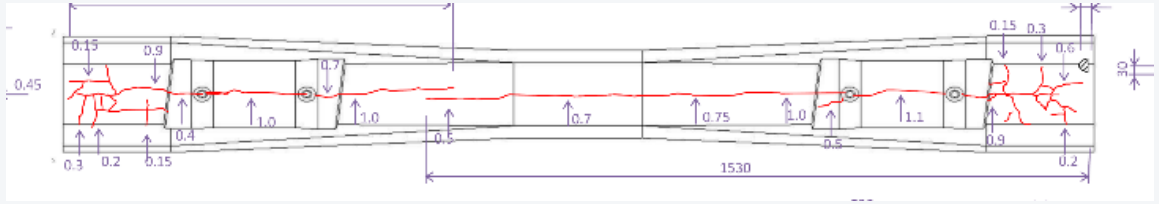
- JIS規定の性能評価試験
- 曲げ耐力・埋込栓引抜耐力を評価
- 経年、ひび割れ有無との関係を調査





調査②：ひび割れ発生状況調査

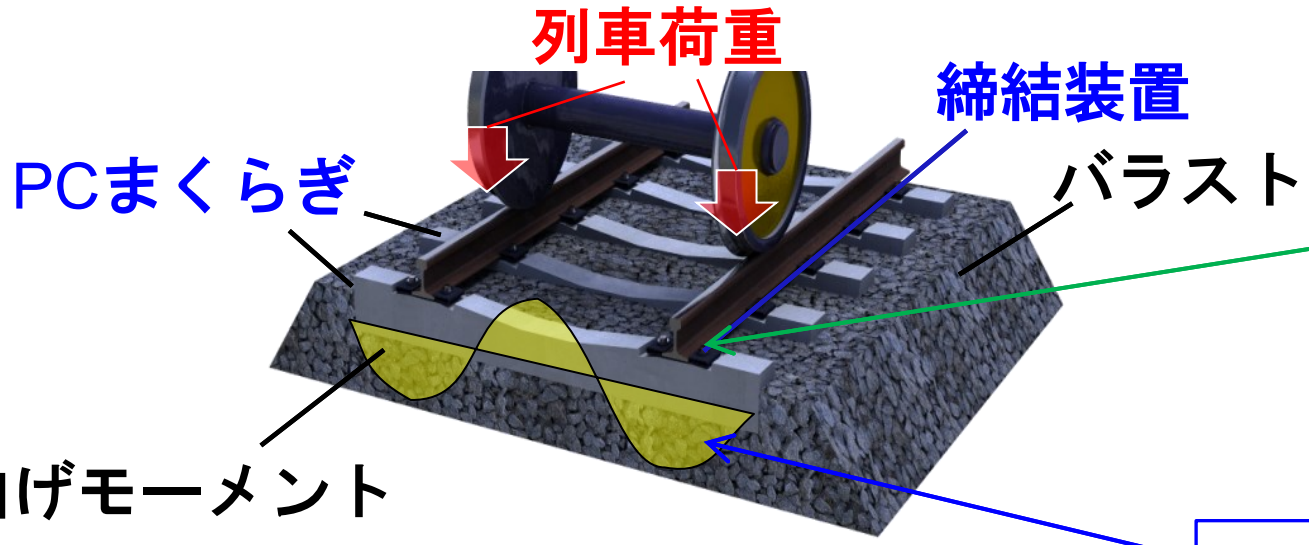
- 外観調査図を作成し、ひび割れを記録
- 外観調査図に対し画像処理を行い、ひび割れ発生位置とその長さを取得

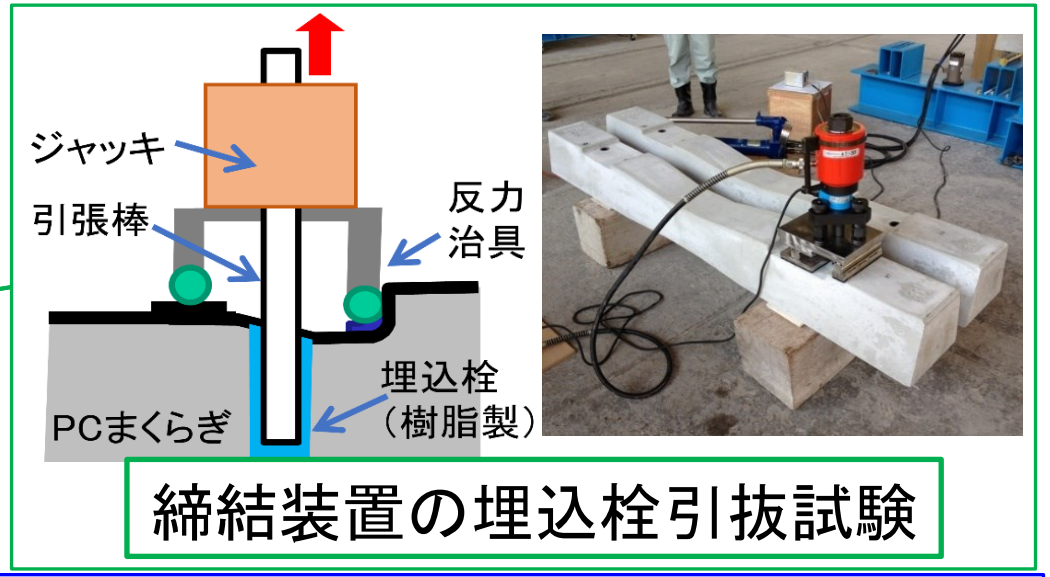


調査③ひび割れの長さと耐力の関係

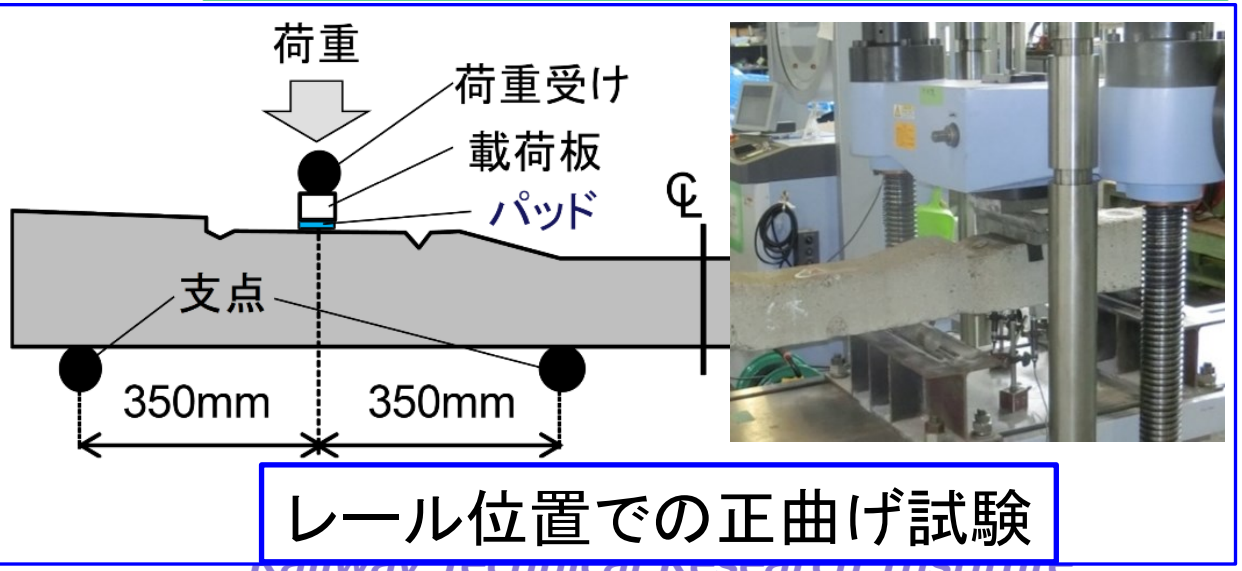
調査①：耐力の実態調査（JIS性能評価試験）

耐荷力試験　JIS E 1201 規定の性能評価試験　→　列車通過時の荷重を想定





締結装置の埋込栓引抜試験



レール位置での正曲げ試験

JIS 規定の荷重と比較

破壊荷重：破壊してはならない荷重

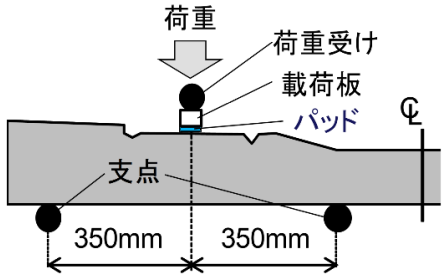
保証荷重：ひび割れを生じてはならない荷重

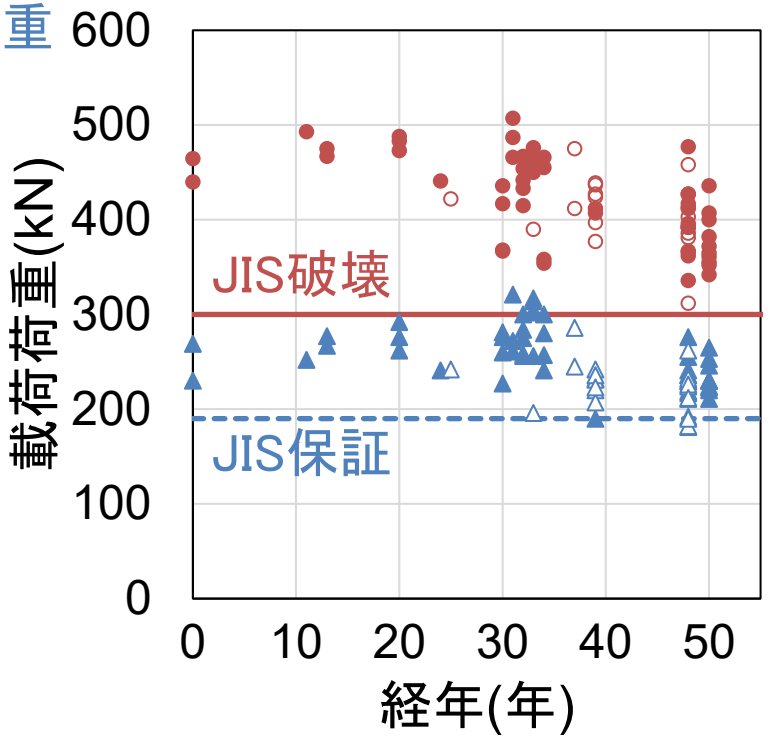
※いずれも新品PCまくらぎに対して

調査①：試験結果

レール位置正曲げ試験結果の例（3H）

▲△ ひび割れ発生荷重
●○ 終局荷重

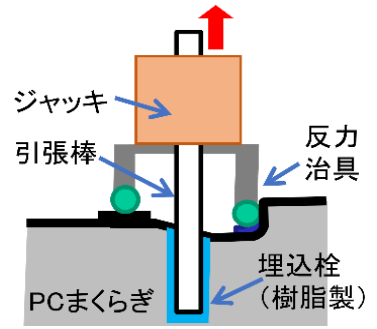


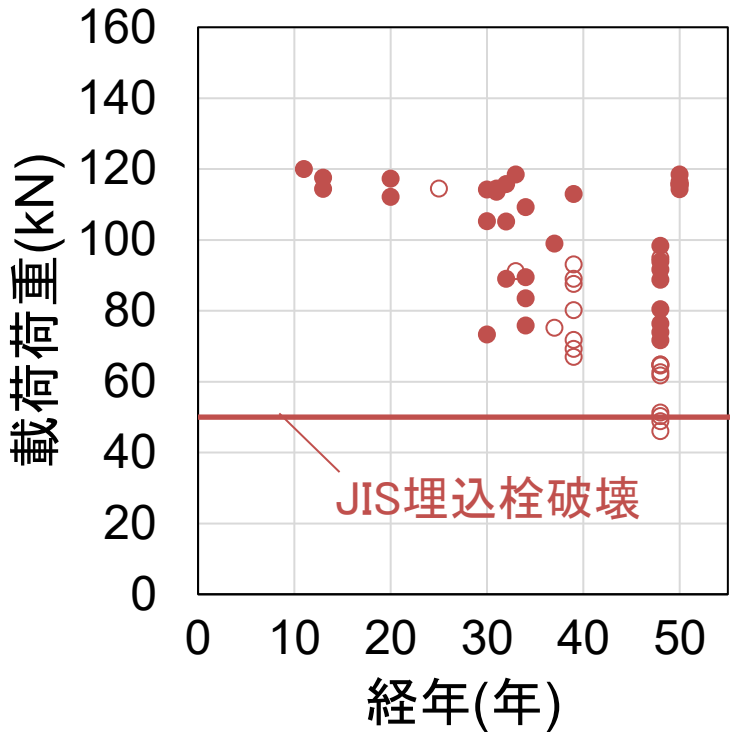


●▲：縦ひび割れ無し　○△：縦ひび割れあり

埋込栓引抜試験の例(3H)

●○ 終局荷重



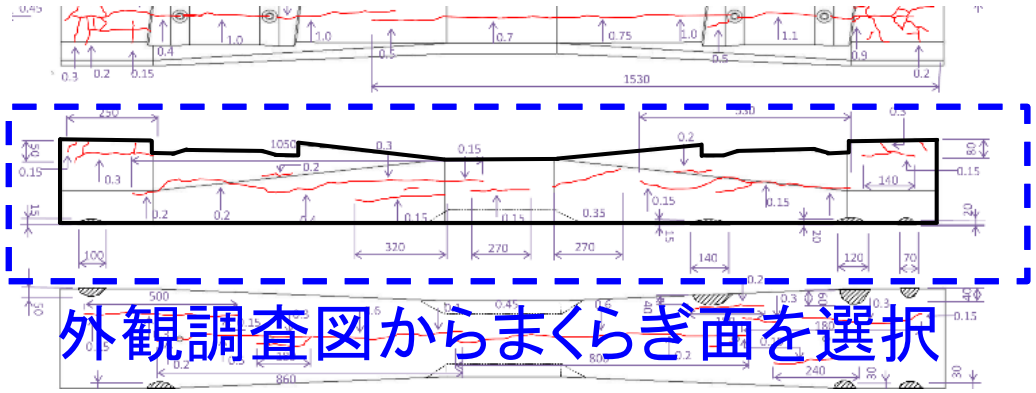


●：縦ひび割れ無し　○：縦ひび割れあり

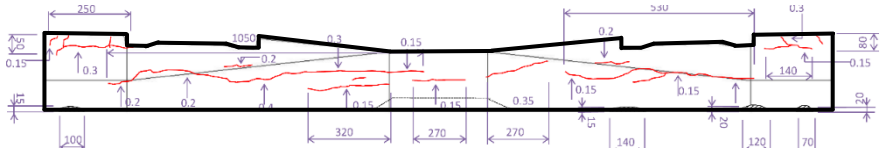
- 経年の増加に伴い、終局荷重やひび割れ発生荷重が低下
- 終局荷重は3H埋込引抜試験の一部を除いてJISに規定される破壊荷重を上回る
  ⇒ 交換の緊急性は低い

調査②：ひび割れ発生状況調査

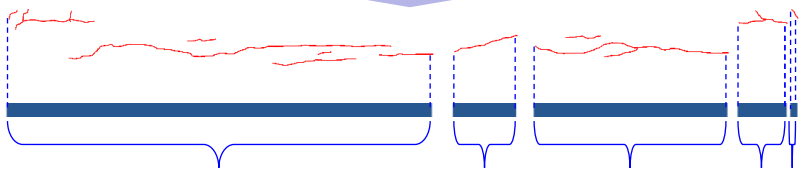
ひび割れ位置及び長さ取得手順



外観調査図からまくらぎ面を選択

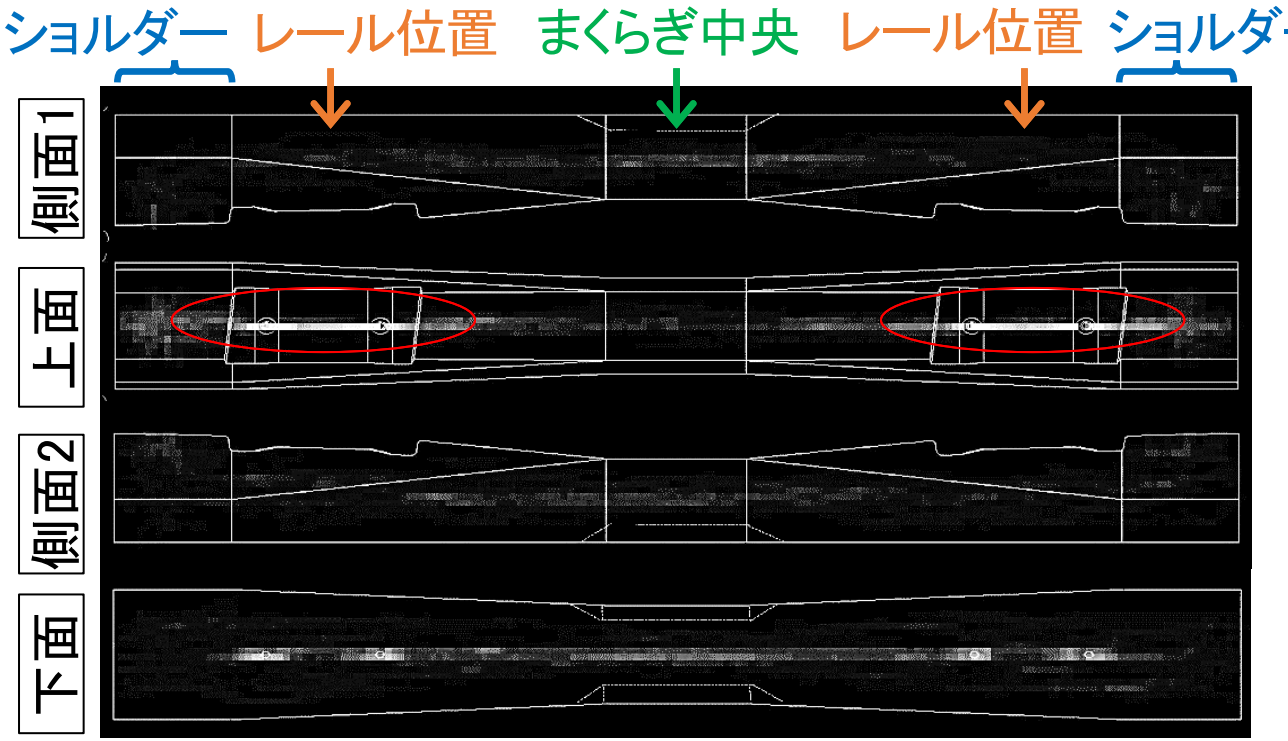


ひび割れ（赤線部）のみ抽出



まくらぎ長手方向のひび割れ長さ

ひび割れ発生位置(3H)の取得結果



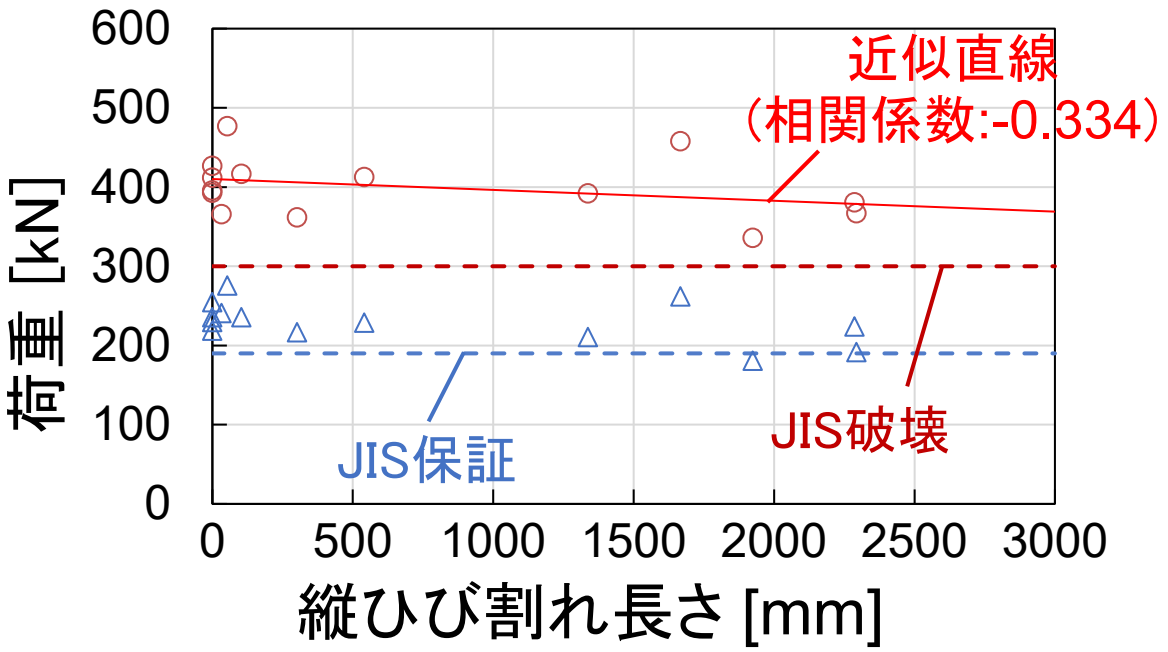
白い部分：ひび割れが発生しやすい

- 縦ひび割れは特に上面の埋込栓付近に生じる
  ⇒ 目視による確認も容易なPCまくらぎ上面に生じたひび割れに着目した検討の実施

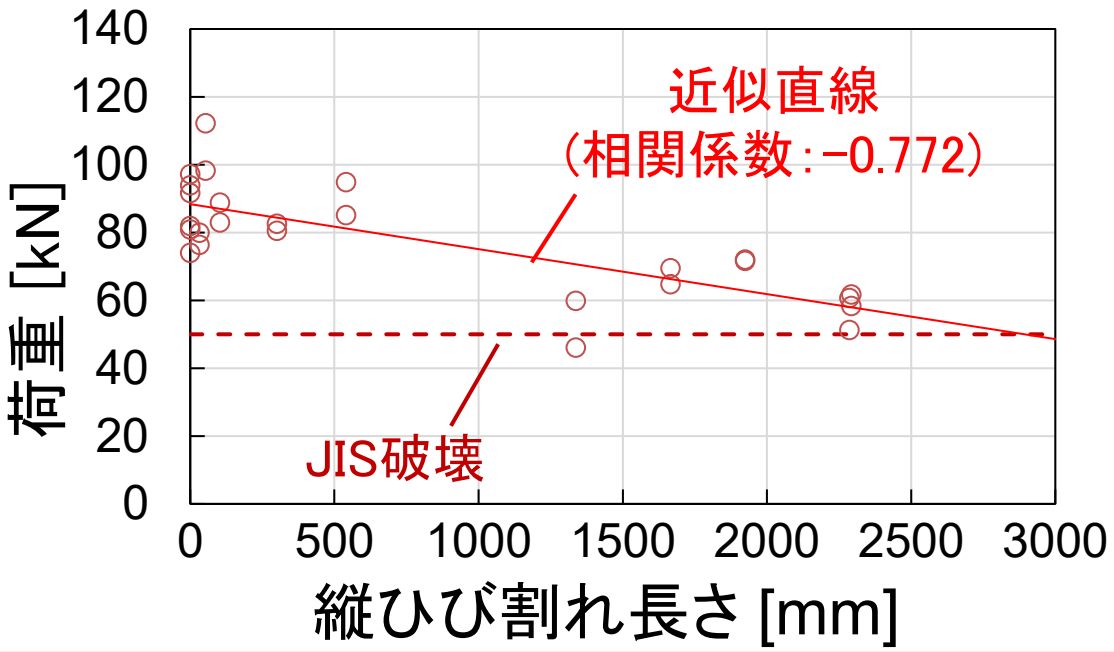
調査③：ひび割れ長さと耐力の関係

- ①JIS性能評価試験結果と②上面縦ひび割れの長さの関係を調査
- 経年の影響を除くため，同一の経年（経年48年：14本）のPCまくらぎのみを対象

正曲げ



埋込栓



※埋込栓引抜試験はまくらぎ1本あたり2か所で実施

- PCまくらぎ上面の縦ひび割れ長さと埋込栓引抜耐力に負の相関
  ⇒ 埋込栓連続不良による軌間保持機能低下の観点から，この関係性を用いた健全度評価指標を提案

健全度評価指標の提案

健全度評価指標の例

健全度	判定基準の例	措置の例
A	・上面にまくらぎ全長の約9割程度以上の長さのひび割れが発生 ・標準軌用PCまくらぎの場合，上面に生じたひび割れ長さ累計が2100mm以上	・台帳等へ記録 ・交換計画策定 ・定期的な監視
B	・上面にまくらぎ全長の2/3程度以上の長さのひび割れが発生 ・標準軌用PCまくらぎの場合，上面に生じたひび割れ長さ累計が1600mm以上	・台帳等へ記録 ・経過観察 ・交換の検討
C	・ひび割れは生じているが，その長さはまくらぎ全長の2/3程度未満 ・標準軌用PCまくらぎの場合，上面に生じたひび割れ長さ累計が1600mm未満	・経過観察
健全	・縦ひび割れなし	・なし

ひび割れ長さに応じた
定量的な健全度評価指標

本日の発表

1 はじめに

2 PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

3 画像解析を活用した健全度評価システムの開発

4 まとめ

健全度評価システムの概要

提案した健全度評価指標では、「ひび割れの長さ」を指標とする

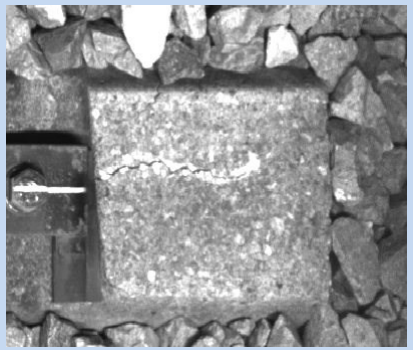
⇒　膨大な数のPCまくらぎのひび割れ長さを効率よく取得する手法が必要

事業者の一部で保守用車等の車両床下にカメラを設置して軌道部材を撮影

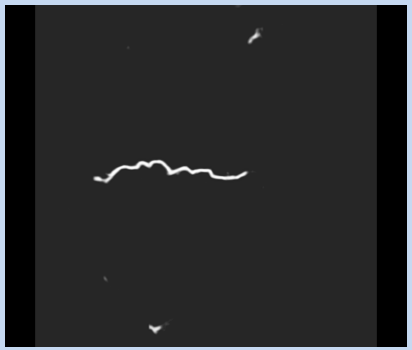
⇒　PCまくらぎの撮影画像からひび割れを抽出し長さを取得する手法を開発

開発手法のフロー

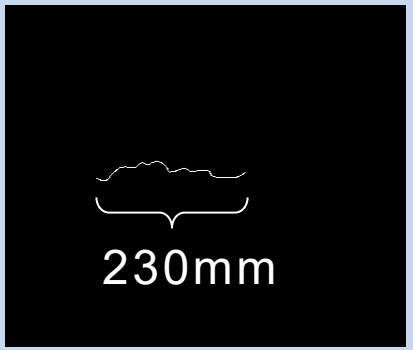
1. PCまくらぎ上面画像を入力



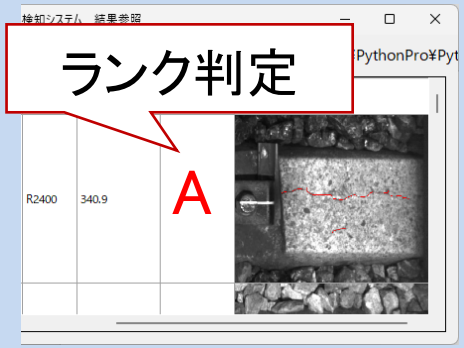
2. 深層学習によりピクセル単位でひび割れ抽出



3. 細線化処理によりひび割れ長さ取得



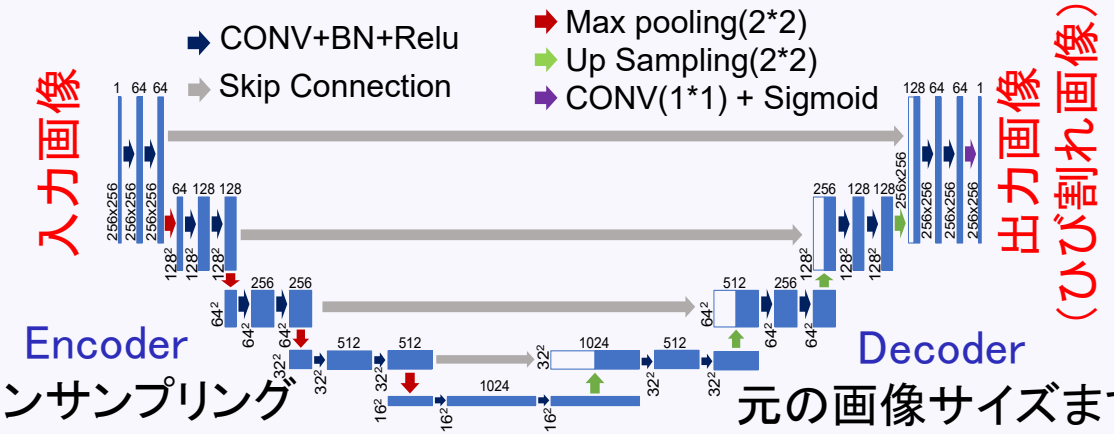
4. 提案する指標に基づきPCまくらぎの健全度を評価



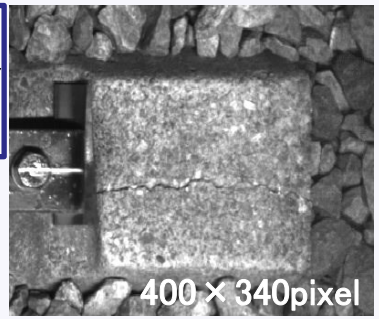
画像処理を活用したひび割れ抽出・長さ取得

- 保守用車搭載のカメラによる撮影画像を対象
- 誤検知抑制のため深層学習を活用

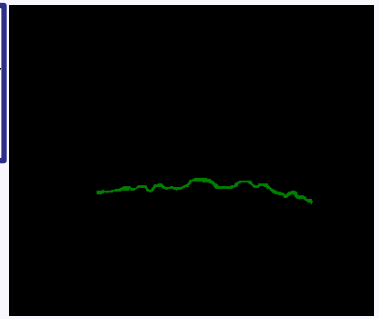
セマンティックセグメンテーション(U-net)
ピクセル単位でひび割れの有無を判定



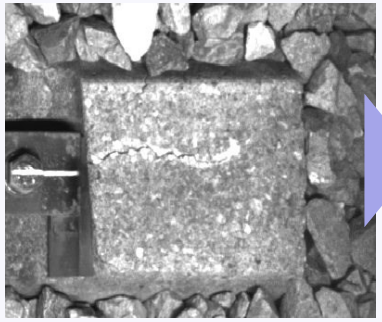
対象画像の例



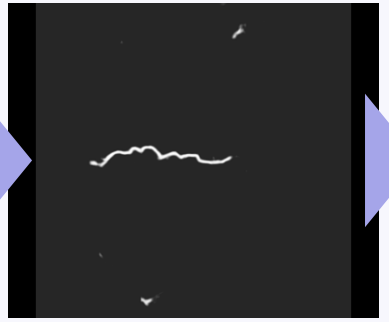
教師画像の例



ノイズ除去とひび割れ長さの算出方法

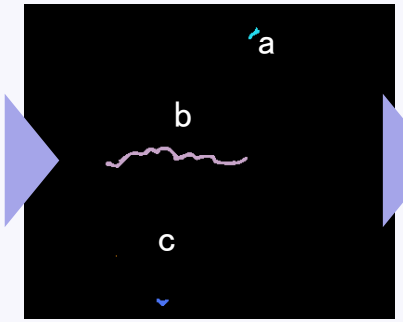


(1) 元画像

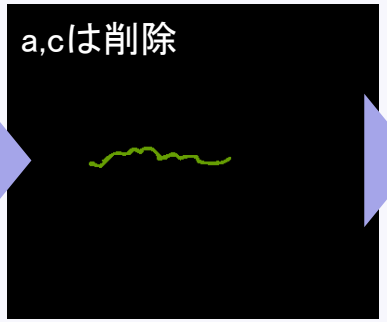


(2) ひび割れ画像

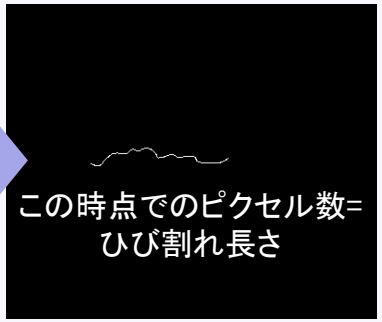
(3) 二値化画像



(4) 連続領域分割



(5) 微小領域削除（ノイズ除去）

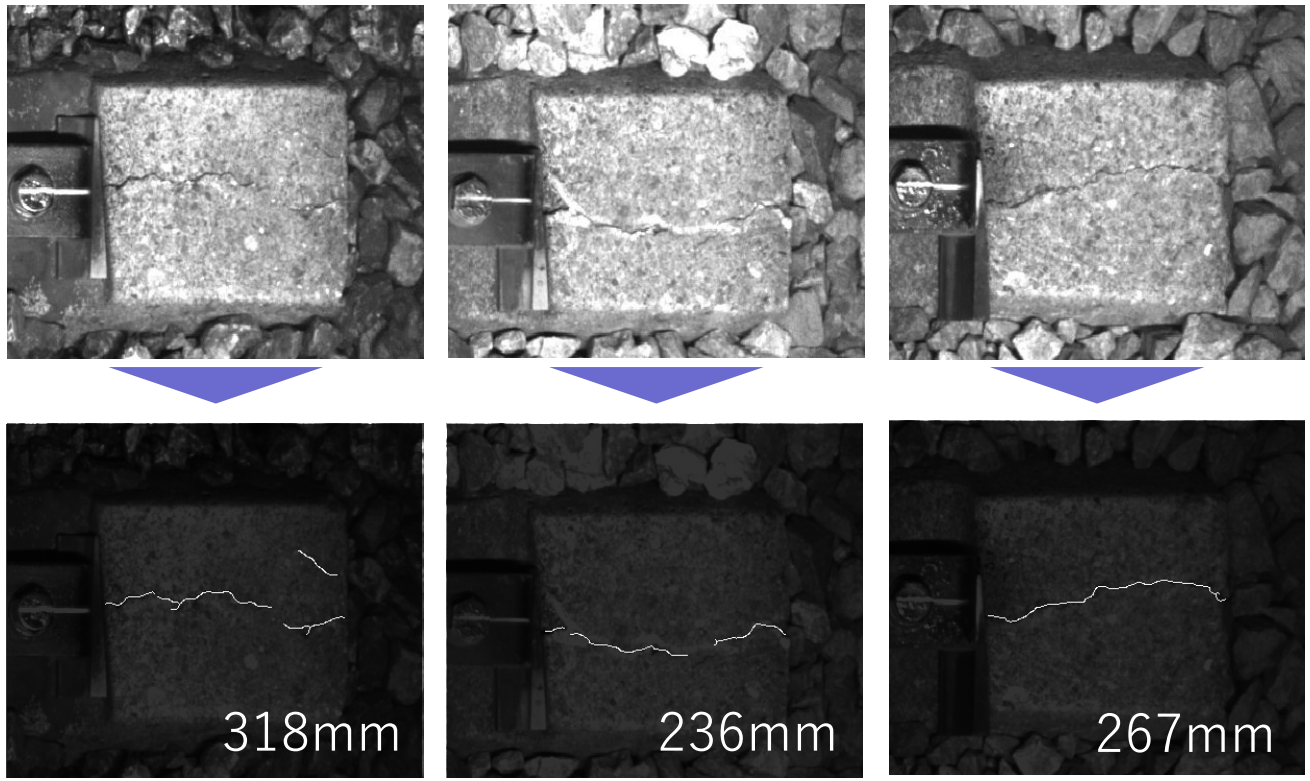


(6) 細線化+ピクセル数カウント

ひび割れ抽出・長さ取得結果

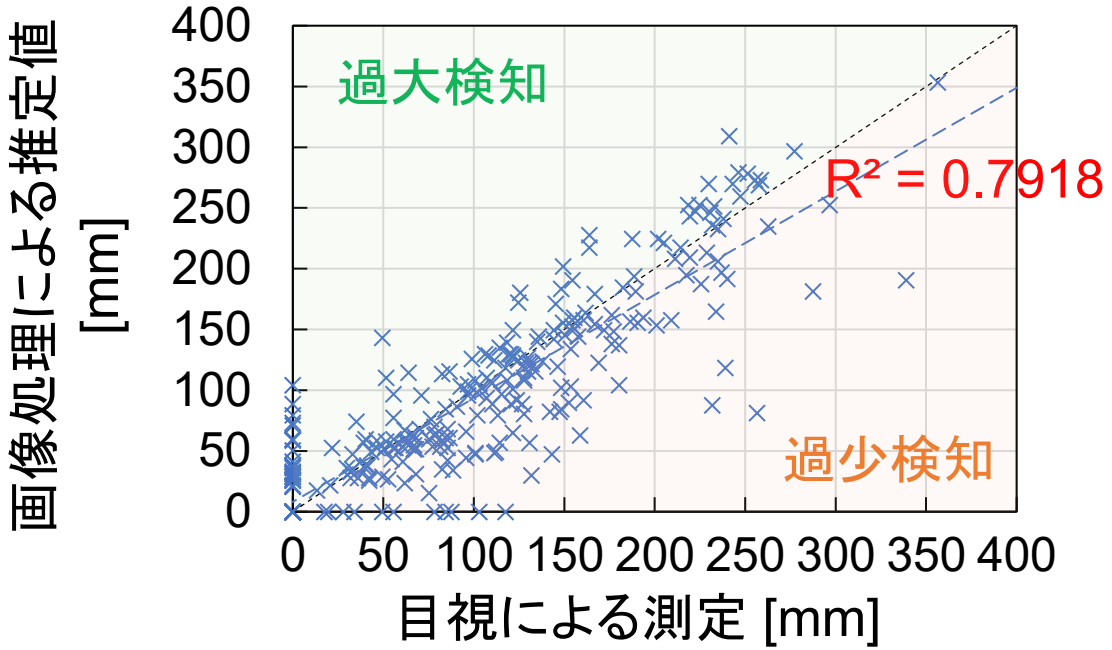
- ショルダー部の画像を対象とした検証結果

ひび割れ抽出＋細線化と長さ推定の例



目視による測定との比較

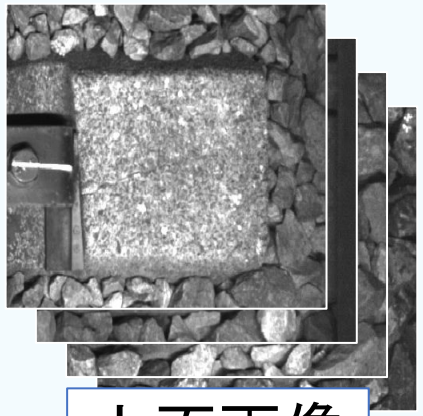
300枚の画像に対し，目視で確認したひび割れの長さと開発手法を比較



- 多くの画像データで締結装置やバラスト等による誤検知なく良好にひび割れ抽出可能
- 推定値は若干過少検知の傾向にあるものの，目視測定と同様の値となり高い相関性

開発した健全度評価システム

入力データ

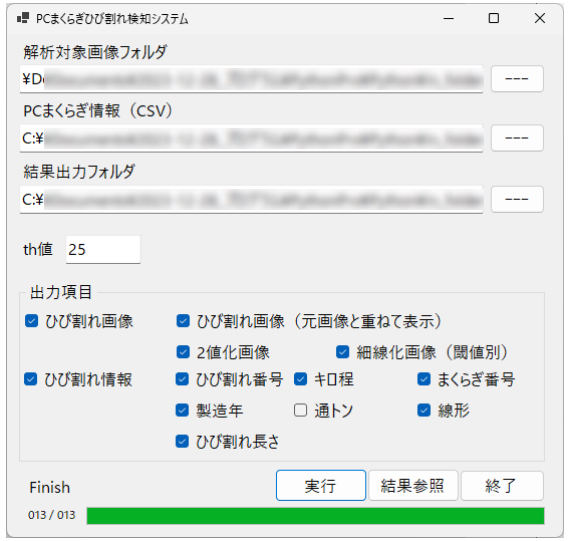


上面画像

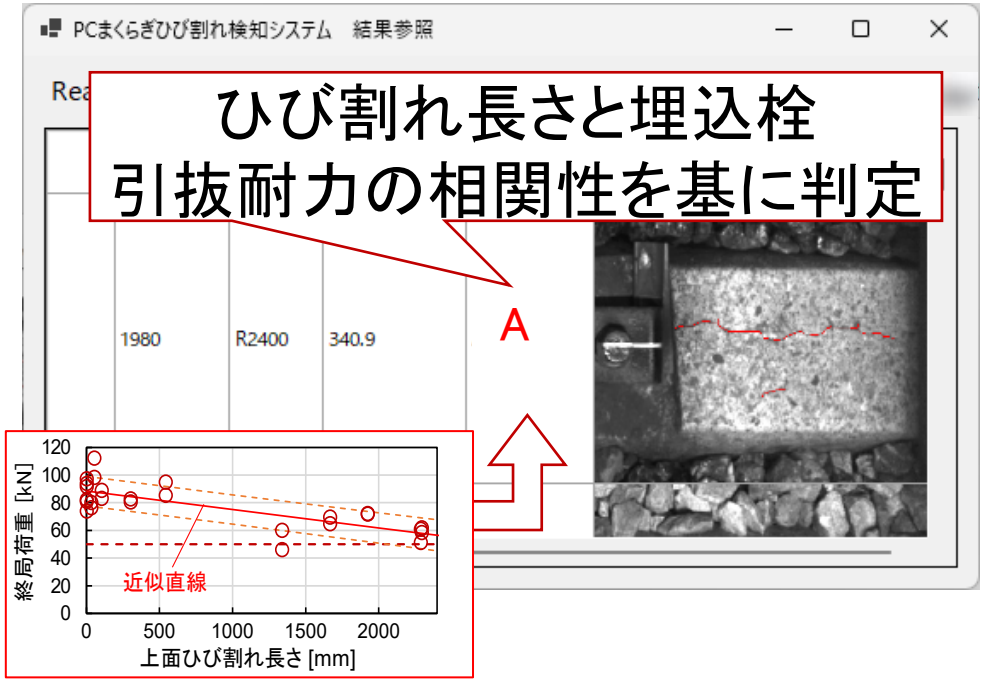
まくらぎ情報
- キロ程
- 製造年
- 敷設箇所の線形
- PCまくらぎ形式

……

入力インタフェース



ひび割れ抽出結果と判定結果

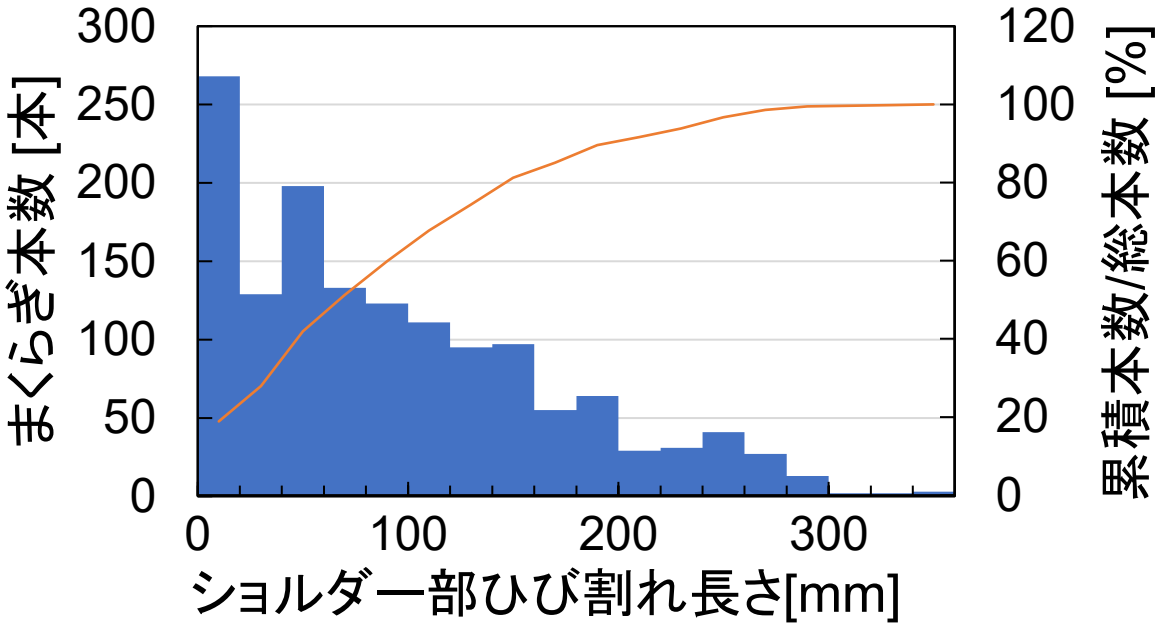


- 提案した健全度評価指標と開発した長さ推定手法から耐力と関連付けられた健全度評価システムを構築
- 解析時間は別途必要だが、作業自体は1人で数分程度の作業

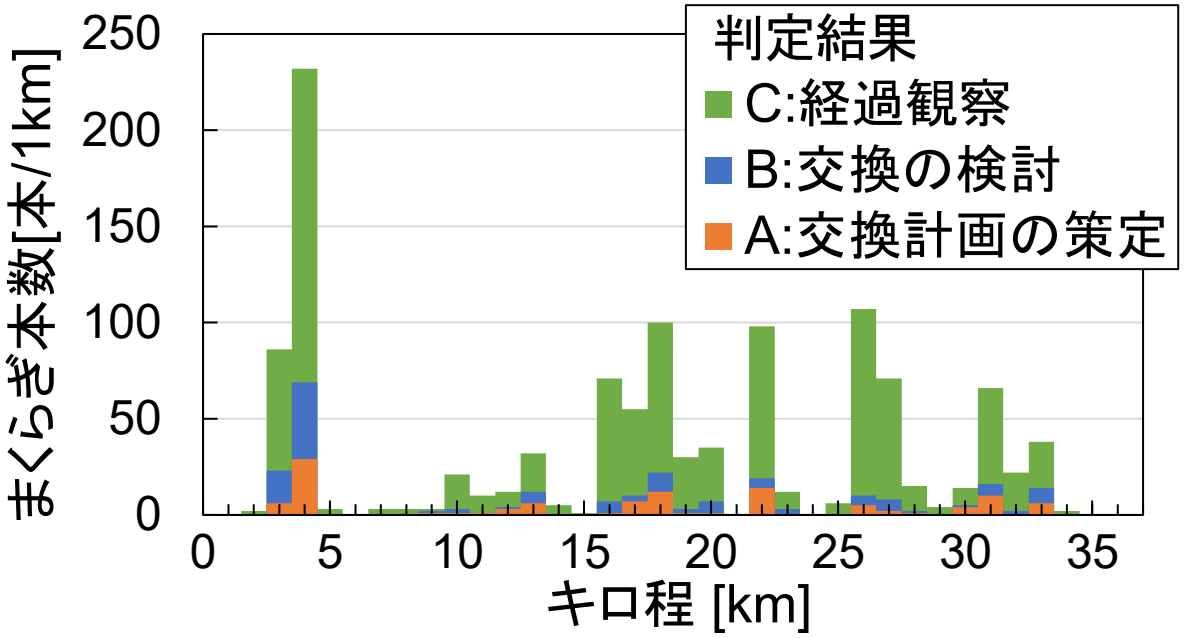
健全度評価システムの活用例

- 構築システムと統計処理により，PCまくらぎの縦ひび割れ発生状況を把握

ひび割れの長さと発生本数の分布



PCまくらぎの判定の例とその本数(1kmごと)



構築したシステムの活用によりひび割れ発生状況を定量的に把握可能であることを確認

本日の発表

1 はじめに

2 PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

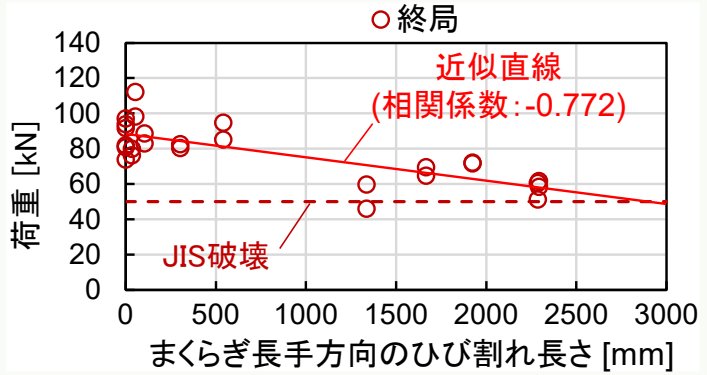
3 画像解析を活用した健全度評価システムの開発

4 まとめ

まとめ

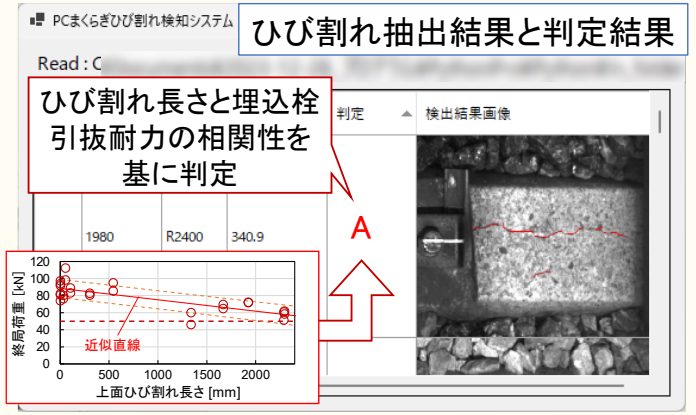
目的①　PCまくらぎの実態調査と健全度評価指標の提案

- 性能評価試験からPCまくらぎに縦ひび割れが生じても交換の緊急性は低いことを確認
- 縦ひび割れ長さと埋込栓引抜耐力の関係に着目した健全度評価指標を提案



目的②　画像解析を活用した健全度評価ツールの開発

- 深層学習を活用したひび割れ抽出・長さ推定手法を開発
- 提案した健全度評価指標と開発した長さ推定手法から耐力と関連付けた健全度評価システムを構築



成果の活用

- 各鉄道事業者の現場への適用を想定したインターフェース及び機能を備えたシステム導入を進める。
- 鉄道事業者に対し、本テーマの成果を基にしてPCまくらぎ検査の現行の判定基準の見直しを支援する。

- 後継の研究テーマにおいて，本テーマで開発した画像解析手法を応用した凍害PCまくらぎに対する健全度評価ツールを開発予定。

凍害を受けたPCまくらぎの例

参考文献

- 箕浦慎太郎，渡辺勉，吉川秀平：縦ひび割れが生じたPCまくらぎの実態調査と維持管理指標に関する検討，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論，Vol.32，pp.475-480，2023

- 箕浦 慎太郎，渡辺 勉：深層学習を活用したPCまくらぎのひび割れ検知手法に関する基礎的検討，AI・データサイエンス論文集，Vol.4，No.3，pp.285-292，2023